

Abb. 5.29: Prüfung des Operationsverstärkers
 a) Nennstromaufnahme, Ausgang unbelastet
 b) Bestimmung der Verstärkung v_U über Spannungsteiler

Die Eingangsoffsetspannung U_{OS} ist die Spannung, die zwischen den Eingangsklemmen liegen muss, damit die Ausgangsspannung zu Null wird. Bezugspunkt ist der invertierende Eingang. Die Offsetspannung liegt im Allgemeinen zwischen 0 und ± 10 mV. Stellt man mit dem Nullabgleich-Potentiometer die Ausgangsspannung auf Null, dann muss bei abgeklemmten Eingangssignalen die Offset-Spannung an den Eingängen des Verstärkers gemessen werden.

Der Ausgangsspannungshub kann ebenfalls mit dem Nullabgleich-Potentiometer überprüft werden.

Von der Mittelstellung des Potentiometers aus muss sich die Ausgangsgleichspannung, entsprechend Linksanschlag und Rechtsanschlag des Potentiometers um den selben Betrag nach positiver und negativer Polarität verändern.

Sind die Gleichspannungspotenziale des Operationsverstärkers in Ordnung und ist nur die Verstärkung zu hoch bzw. zu niedrig, dann empfiehlt sich folgende Maßnahme (vgl. Abb. 5.30) zur Überprüfung der Verstärkerfunktion des OPV:

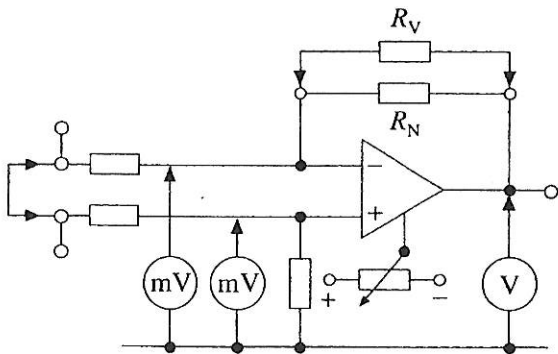


Abb. 5.30: Mess- und Prüfmethoden am Operationsverstärker

Zum Gegenkopplungswiderstand R_N wird ein gleich großer Widerstand R_V parallel angeschlossen. Der Widerstandswert des Gegenkopplungswiderstands wird dadurch halbiert. Dadurch wird auch der Verstärkungsfaktor halbiert, sodass die Ausgangsamplitude um die Hälfte kleiner werden müsste. Ist dies der Fall, kommen der Verstärker und die Gegenkopplung als Fehlerursache nicht in Frage. Es müsste dann die Amplitude des Eingangssignals überprüft werden.

Ist das Ausgangssignal zu groß und zeigt es Übersteuerungsbegrenzung und kommt es dann durch die Parallelschaltung des Widerstandes R_V aus der Übersteuerung heraus und geht auf seinen normalen Verstärkungswert zurück, dann ist der Operationsverstärker in Ordnung und der Gegenkopplungswiderstand R_N unterbrochen.

Ist bei geringer Ausgangsamplitude durch Anschließen des Widerstandes R_V keine Änderung festzustellen, dann ist entweder der Operationsverstärker defekt oder Gegenkopplungswiderstand in seinem Wert zu niedrig, bzw. der Eingangswiderstand in seinem Wert zu hoch. In diesem Fall empfiehlt es sich vor Auswechslung des Operationsverstärkers diese zwei Widerstände auf ihren Wert zu überprüfen.

Unterbrechungen der IC-Anschlüsse und Kurzschlüsse am Operationsverstärker wirken sich wie folgt aus:

Die in Abb. 5.31a dargestellte Unterbrechung des invertierenden Eingangs bewirkt eine Trennung des Eingangssignals und der Gegenkopplung. Der Operationsverstärker arbeitet mit maximaler Verstärkung, wodurch die auf den Eingang wirkenden Störsignale den Verstärkerausgang übersteuern.

In Abb. 5.31b liegt die Unterbrechung vor dem Verbindungspunkt der Gegenkopplung mit dem invertierenden Eingang. Dadurch wird das verstärkte Störsignal an den Eingang unvermindert zurückgekoppelt. Durch die unsymmetrische Belastung der Eingänge kann auch eine Verschiebung der Offsetspannung am Ausgang auftreten.

Eine Unterbrechung des Ausgangs entsprechend der Abb. 5.31c übersteuert den Operationsverstärker bis zur Begrenzung. Am Ausgang messbar ist aber nur das über den Gegenkopplungswiderstand auf den Ausgang übertragene und reduzierte Eingangssignal.

Die in Abb. 5.31d dargestellte Unterbrechung der Gegenkopplung auf der Ausgangsseite hebt die Begrenzung der Leerlaufverstärkung des Operationsverstärkers auf, wodurch das Ausgangssignal voll durch Übersteuerung in der Begrenzung liegt.

Kurzgeschlossene Eingänge eines OPV (vgl. Abb. 5.31e) haben kein Ausgangssignal zur Folge.

Ist der Ausgang mit den Betriebsspannungen verbunden, nimmt er das Potenzial der Betriebsspannung an. In Abb. 5.31f ist der Ausgang mit $+U_{CC}$ kurzgeschlossen, sodass dieser Pegel am Ausgang gemessen wird. Auch Kurzschlüsse der Eingänge mit den Betriebsspannungen zeigen sich am Ausgang nahezu mit dem Betriebsspannungs-

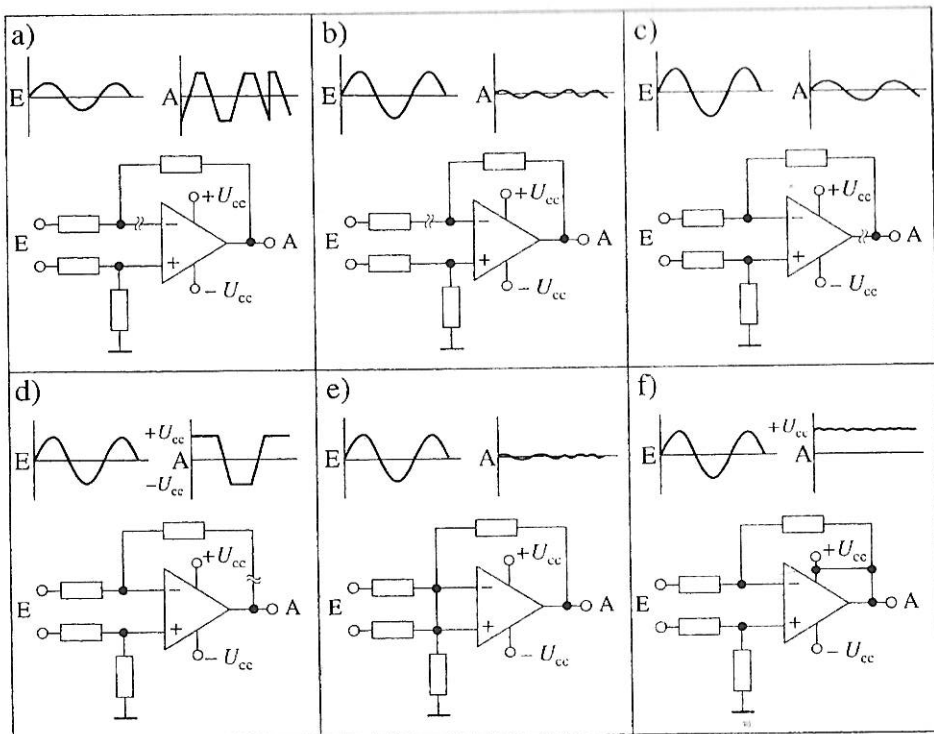


Abb. 5.31: Fehlermöglichkeiten am Operationsverstärker

potenzial durch die Verstärkung. Von der gemessenen Polarität kann man nicht auf Kurzschluss eines bestimmten Eingangs schließen. Ist z. B. der invertierende Eingang mit der positiven Betriebsspannung kurzgeschlossen, zeigt der Ausgang negative oder positive Betriebsspannung.

Bei integrierten NF-Leistungsverstärkern können zusätzlich zu den Widerstandsmessungen an den Eingangs- und Ausgangsanschlüssen anhand der Fehlerauswirkungen noch folgende Prüfungen durchgeführt werden:

Ist bei vorhandenem Eingangssignal keine Ausgangsspannung feststellbar, dann kann durch Messung der Stromaufnahme und gleichzeitiger Veränderung der Eingangsspannung festgestellt werden, ob sich die Stromaufnahme ändert. Sie muss bei größerer Eingangsamplitude ebenfalls größer werden. Ändert sich die Stromaufnahme nicht, ist der IC-Verstärker defekt.

Kurzschlüsse und Unterbrechungen an Ein- und Ausgängen wirken sich wie das Nichtvorhandensein des Signals aus.

Fehlersuche an Vorverstärkern

Hier wird man in jeden Fall so vorgehen, dass man an den Eingang des Operationsverstärkers ein Signal anlegt und mit dem Oszilloskop an den aufeinanderfolgenden Stufen prüft, ob das Signal noch vorhanden ist. Auf diese Weise lässt sich ein Bauelementefehler, der zu einem Totalausfall des Gerätes geführt hat, leicht einkreisen. Ist die fehlerhafte Verstärkerstufe gefunden, so werden die statischen Arbeitspunkte gemessen (z. B. Kollektor-Emitter-Spannung und Basis-Emitter-Spannung). Mit diesen Messungen ist es in den meisten Fällen möglich, das defekte Bauelement zu lokalisieren.

Etwas schwieriger sind Fehler zu finden, die nicht zu einem Totalausfall führen. Ein häufig vorkommender Fehler dieser Art ist der Verstärkungsrückgang durch Kapazitätsverlust von Elektrolytkondensatoren. Hierbei muss die Verstärkung jeder Stufe gemessen werden. Man geht dabei so vor, dass man die Wechsellspannung vor und hinter jeder Stufe misst und daraus die Verstärkung berechnet. Ein Zweikanal-Oszilloskop ist hierbei von großem Nutzen, da auch die Phasenlage und die Signalform zu sehen ist. Es kann jedoch auch mit einem Einstrahl-Oszilloskop gearbeitet werden.

Ein weiterer, relativ häufig auftretender Fehler bei Vorverstärkern mit hoher Verstärkung und geringer Gegenkopplung sind Eigenschwingungen. Bei Operationsverstärkern ist die Gefahr besonders groß. Solche Eigenschwingungen können verursacht werden durch falsche Dimensionierung der Gegenkopplung und durch kapazitive Belastung des Ausgangs (vgl. Abb. 5.32).

Die kapazitive Belastung verhindert ein genügend schnelles Ansteigen oder Abfallen der Ausgangsspannung. Diese Begrenzung der „Slew-Rate“ oder Spannungs-Anstiegsgeschwindigkeit führt zu dreiecksförmiger Ausgangsspannung und kann eine Instabilität zur Folge haben. Die Slew-Rate-Begrenzung kann auch im Verstärker selbst auftreten, wenn die Herstellerdaten bezüglich Eingangs- und Ausgangsbelastung, Frequenzgang und Verstärkung, nicht beachtet werden.

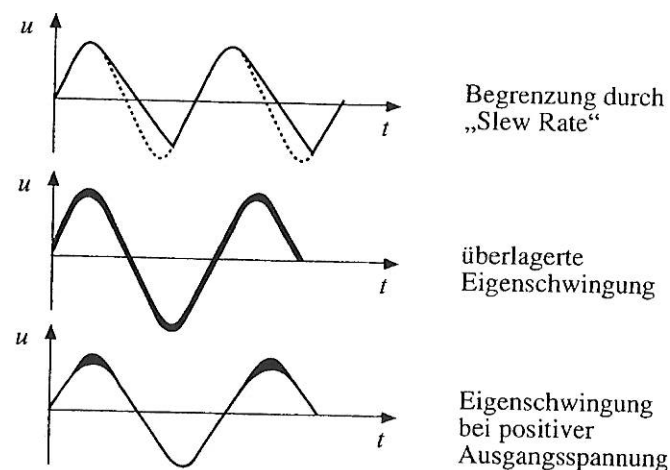


Abb. 5.32: Fehlerhafte Ausgangssignale am Operationsverstärker

Eigenschwingungen können mit dem Oszilloskop erkannt werden. In der Regel wird das gewünschte NF-Ausgangssignal durch überlagerte, hochfrequente Schwingungen zu einem Band verbreitert (vgl. Abb. 5.31). Diese Verbreiterung kann dauernd vorhanden sein oder nur an bestimmten Stellen der zu verstärkenden Signalform, z. B. im Nulldurchgang oder im Maximum von Sinusschwingungen.

Endverstärker

Der Unterschied im Betrieb der Endverstärker zu den Vorverstärkern liegt darin, dass die Ausgangswechselspannung in der Größe der angelegten Betriebsspannung liegt, bei hohen Strömen und daher großen Leistungen (Leistungsverstärkung), während bei den Vorverstärkern die Verstärkung kleiner Signale (Spannungsverstärkung) im Vordergrund steht. Aus diesem Grund müssen vielfach die Arbeitspunkte einer Leistungs- endstufe einstellbar sein, um ein Maximum an der Aussteuerlinearität zu erreichen.

In Abb. 5.33 ist als Beispiel eine Gegentakt-Endstufe mit Komplementärtransistoren (NPN und PNP) dargestellt. Der veränderliche Widerstand R_B zwischen den beiden Basisanschlüssen dient zur Einstellung einer Basisvorspannung und damit zur Ruhestromeinstellung. Diese Einstellung kann mit einem Strommessgerät in einer Kollektorzuleitung vorgenommen werden, aber auch mit einem Oszilloskop ist die Einstellung möglich. Zu geringer Ruhestrom äußert sich in einem Knick beim Nulldurchgang der Spannung. In diesem Zustand leitet keiner der beiden Transistoren. Der Widerstand R_B muss vergrößert werden, damit der Ruhestrom größer wird (Abb. 5.33a).

Ein weiterer Abgleich bei Endverstärkern ist die Einstellung der Arbeitspunkte der beiden Transistoren. Bei unsymmetrischem Arbeitspunkt wird die Ausgangswchselspannung einseitig begrenzt. Zum Abgleich muss deshalb die Gleichspannung so eingestellt werden, dass bei Erhöhung der Wechselspannungsamplitude die Ausgangswchselspannung symmetrisch begrenzt wird (Abb. 5.33b).

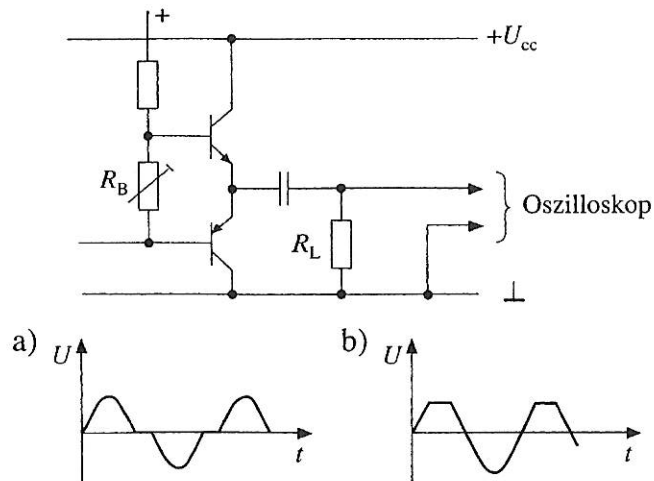


Abb. 5.33: Fehlerhafte Ausgangssignale an einer Leistungsstufe
 a) Ruhestrom (Arbeitspunkt) zu niedrig
 b) Unsymmetrische Arbeitspunkte

5.7 Übungen zur Vertiefung

- Die Schaltung in Abb. 5.34 zeigt einen dreistufigen Verstärker, der im funktionsfähigen Zustand eine Gesamtverstärkung von $v_U = 1000$ hat.

Die Verstärkung ist aufgrund eines Defekts wesentlich geringer.

Zur Fehlerbehebung werden die Gleich- und Wechselspannungen mit einem Digitalvoltmeter gemessen, das im Wechselspannungsbereich bis $f = 10$ kHz messen kann.

Die Eingangswchselspannung ist sinusförmig mit einer Frequenz von $f = 1$ kHz. Alle Spannungsmessungen werden gegen Bezugspotenzial (Masse) gemessen. Die Wechselspannungen sind Effektivwerte.

Mit einem Minimum von Messungen soll versucht werden, die Fehlerursache zu finden.

Gemessene Werte:

$$U_1 = 10 \text{ mV}, u_2 = 3 \text{ V}, v_U = 300$$

Transistor T1

$$U_{BE} = 1,3 \text{ V}, U_E = 0,8 \text{ V}$$

Transistor T2

$$U_{BE} = 0,2 \text{ V}, U_E = 0,2 \text{ V}$$

Transistor T3

$$U_{BE} = 1,6 \text{ V}, U_E = 1 \text{ V}, U_C = 8 \text{ V}$$

Welcher Transistor ist defekt?

Warum ergibt sich eine geringere Gesamtverstärkung?

- In der Schaltung nach Abb. 5.35a sind alle drei Transistorstufen direkt miteinander gekoppelt. Die Tabelle in Abb. 5.35b zeigt die möglichen Fehlerarten. Für jede

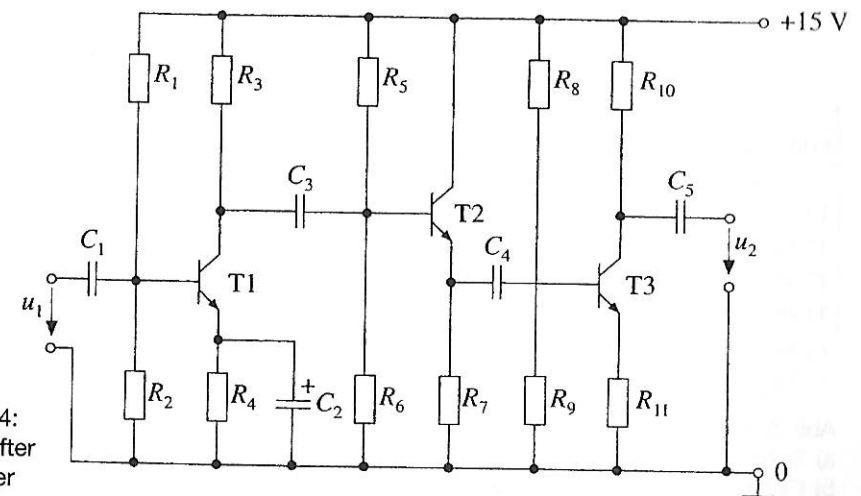


Abb. 5.34: Fehlerhafter Verstärker